

PEMBUATAN DAN PENGUJIAN MEKANIK PADUAN Al-1,1 m% Mn SEBAGAI MATERIAL ENERGI TAHAN TEMPERATUR TINGGI

Bagas Pujilaksono

ABSTRAK

Paduan aluminium tidak tahan pada temperatur tinggi (di atas 450°C). Pada temperatur tinggi butir-butir paduan logam aluminium akan membesar/tumbuh dengan cepat yang berakibat kekuatan mekaniknya turun dengan drastis. Pada penelitian ini dicoba dibuat paduan Al-Mn dengan 1,1 m% logam Mn. Pada komposisi tersebut terbentuk fasa kedua $MnAl_6$ sebagai presipitat di batas butir fasa matriks Al-Mn. Paduan Al-Mn pada komposisi tersebut kemudian diuji tarik pada berbagai tingkat temperatur.

Dari hasil uji tarik menunjukkan pemanasan hingga temperatur 550°C kekuatan mekanik paduan Al-Mn tidak berubah. Hal ini disebabkan derajat inkoherensi orientasi kristal antara fasa kedua $MnAl_6$ dengan matriks fasa Al-Mn sangat tinggi. Sehingga butir matriks fasa Al-Mn tidak membesar/tumbuh hingga temperatur 550°C. Hasil uji tarik pada rentang temperatur tersebut adalah sebagai berikut: $(\sigma_u, \epsilon)[150^\circ\text{C}] = (\sigma_u, \epsilon)[250^\circ\text{C}] = (\sigma_u, \epsilon)[350^\circ\text{C}] = (\sigma_u, \epsilon)[450^\circ\text{C}] = (\sigma_u, \epsilon)[550^\circ\text{C}] = (579 \text{ MPa}, 3\%)$. Pada temperatur tinggi orientasi kristal $MnAl_6$ berubah menjadi semakin koheren dengan matriks fasa Al-Mn. Akibatnya butir mulai membesar, sehingga sifat mekaniknya menurun. Hasil uji tarik pada temperatur tinggi adalah sebagai berikut: $(\sigma_u, \epsilon)[625^\circ\text{C}] = (555 \text{ MPa}, 4\%)$, $(\sigma_u, \epsilon)[650^\circ\text{C}] = (539 \text{ MPa}, 5\%)$.

I. Pengantar

Latar Belakang

Paduan aluminium banyak dipakai di industri energi karena ketahanan korosi dan mampu bentuknya yang sangat baik. Pada temperatur di atas 650°C butir-butir paduan aluminium tumbuh/membesar dengan cepat yang akibatnya kekuatan mekaniknya turun dengan drastis. Untuk menjaga kekuatan mekaniknya hingga temperatur tersebut logam aluminium dipadu dengan 1,1 m% logam Mn. Pada komposisi tersebut terbentuk fasa kedua $MnAl_6$ sebagai presipitat di batas butir paduan Al-Mn yang sifatnya menghalangi

tumbuhnya/membesarnya ukuran butir paduan Al-Mn akibat naiknya temperatur. Koherensi orientasi kristal $MnAl_6$ dengan orientasi kristal matriks fasa Al-Mn pada berbagai tingkat temperatur sudah dilakukan (akan ditulis/dijelaskan pada edisi berikutnya).

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Membuat paduan Al-1,1 m% Mn.
2. Menguji kekuatan mekanik paduan Al-1,1 m% Mn pada berbagai tingkat temperatur (*disajikan/dibahas pada edisi sekarang*).
3. Mengamati terbentuknya fasa

kedua $MnAl_6$ dengan metalografi optik (*disajikan/dibahas pada edisi berikutnya*).

4. Menganalisa koherensi orientasi kristal fasa kedua $MnAl_6$ dengan orientasi kristal matriks fasa Al-Mn dengan difraksi elektron (*TEM*) (*disajikan/dibahas pada edisi berikutnya*).

Tinjauan Pustaka

Peneliti sebelumnya hanya mengamati terbentuknya fasa kedua $MnAl_6$ dan mengukur ukuran butir hasil pemanasan pada berbagai temperatur. Kekuatan mekanik paduan Al-Mn diprediksi dari perubahan ukuran butirnya. Pada penelitian ini

terbentuknya fasa kedua $MnAl_6$ diamati dengan metalografi optik dan perubahan sifat mekanik diperoleh dari uji tarik. Perubahan kekuatan mekanik dianalisa dengan difraksi elektron (*TEM*).

Landasan Teori

Batas butir adalah tempat bertemunya orientasi kristal yang berbeda dari satu butir dengan butir-butir lain di sekitarnya. Batas butir adalah salah satu penghalang gerakan garis-garis dislokasi. Semakin sulit garis-garis dislokasi bergerak di dalam suatu paduan logam, maka paduan logam tersebut semakin kuat. Garis-garis dislokasi sulit bergerak pada suatu paduan logam yang ukuran butirnya kecil. Hal ini disebabkan jumlah batas butir persatuan luasnya besar, sehingga penghalang gerakan garis-garis dislokasi juga besar. Paduan logam yang dipanasi butirnya membesar/tumbuh, akibatnya jumlah garis-garis dislokasi persatuan luasnya turun. Jumlah penghalang gerakan garis-garis dislokasi juga turun, sehingga kekuatan mekaniknya akan turun (Reed-Hill, 1992).

Salah satu cara penguatan logam adalah dengan penguatan fasa kedua (*second phase hardening/precipitation hardening*). Fasa kedua adalah suatu senyawa, sehingga sifatnya sangat keras. Fasa kedua terdistribusi secara homogen di batas butir atau juga pada butir. Fasa kedua dengan sifatnya yang sangat keras dan distribusinya yang homogen akan menjadi salah satu faktor penghalang yang sangat berarti bagi gerakan garis-garis dislokasi. Faktor lain adalah koherensi orientasi kristal antara fasa kedua dengan orientasi kristal fasa matriks paduan logam. Semakin besar

inkohrensi orientasi kristal fasa kedua dengan matriks fasa paduan logam, maka fasa kedua semakin efektif menghalangi gerakan garis dislokasi. Hal ini disebabkan medan distorsi kristal disekitar fasa kedua semakin besar (Smallman, 1970).

Hipotesis

Pada penelitian ini diambil hipotesis sebagai berikut:

1. Fasa kedua $MnAl_6$ stabil hingga temperatur 625°C.
2. Pada interval temperatur 625°C hingga 650°C terjadi penurunan derajat inkohrensi antara fasa kedua $MnAl_6$ dengan matriks fasa Al-Mn.
3. Pada temperatur di atas 650°C fasa $MnAl_6$ menjadi koheren dengan matriks fasa Al-Mn yang akhirnya fasa kedua tersebut larut di dalam matriks fasa Al-Mn.

II. Cara Penelitian

Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Paduan logam aluminium pasaran
2. Serbuk logam Mn murni.

Komposisi kimia paduan logam pasaran ditentukan dengan spektrometri AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*).

Alat

Pada penelitian ini dipergunakan alat-alat sebagai berikut:

1. Tungku (*furnace*)
2. Alat uji tarik
3. Alat metalografi optik
4. Mikroskop elektron transmisi (*TEM*)
5. Analisa Termal Diferensial (*Differential Thermal Analysis*)

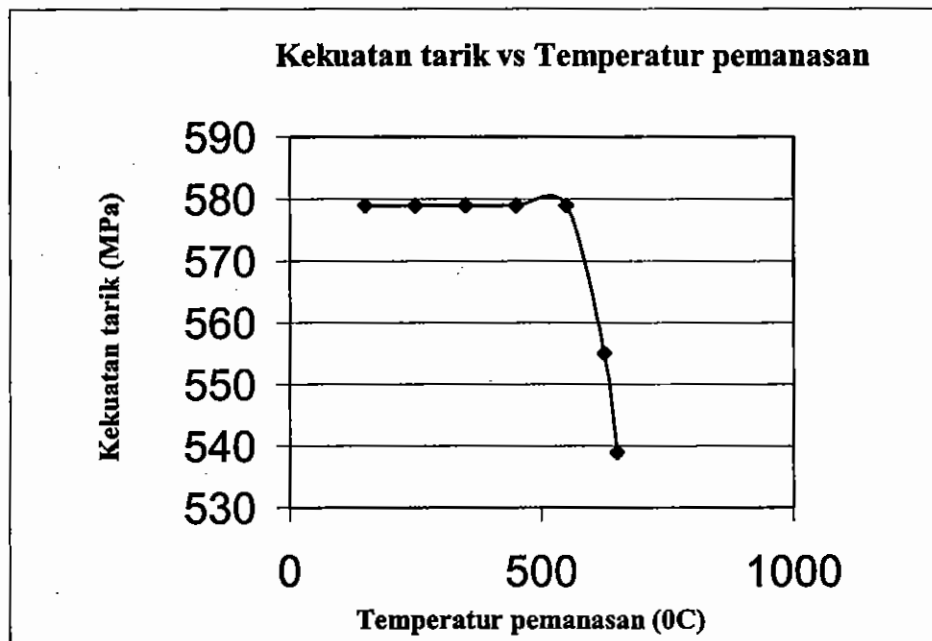
Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut:

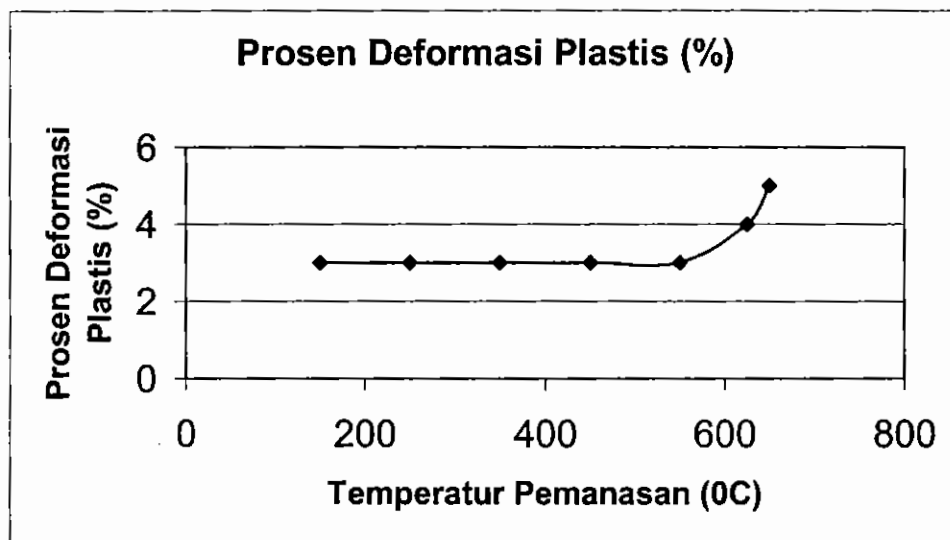
1. Uji komposisi kimia paduan logam aluminium pasaran dengan cara AAS.
2. Penambahan serbuk logam Mn murni pada paduan aluminium pasaran.
3. Paduan logam aluminium pasaran dan serbuk logam Mn murni dilebur pada temperatur 750°C selama 2 jam, kemudian setelah homogen dituangkan pada cetakan yang terbuat dari keramik dengan ukuran 15 x 30 cm.
4. Paduan aluminium dengan komposisi kimia Al-1,1 m%Mn dipotong-potong menurut arah lebarnya dengan lebar 3 cm.
 - a. Potongan pertama dipanasi kembali di tungku pada temperatur 150°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).
 - b. Potongan kedua dipanasi kembali di tungku pada temperatur 250°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).
 - c. Potongan ketiga dipanasi kembali di tungku pada temperatur 350°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).
 - d. Potongan keempat dipanasi kembali di tungku pada temperatur 450°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).
 - e. Potongan kelima dipanasi kembali di tungku pada temperatur 550°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).
 - f. Potongan keenam dipanasi

Tabel 1. Hasil uji tarik paduan Al-1,1 m% Mn

| I. Paduan Logam | Temperatur Pemanasan (°C) | Kekuatan Tarik (G), MPa | Persen Deformasi Elastis (e), % |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Paduan aluminium pasaran | Temperatur kamar | 517 | 6% |
| Al-1,1 m% Mn | 150 | 579 | 3 |
| | 250 | 579 | 3 |
| | 350 | 579 | 3 |
| | 450 | 579 | 3 |
| | 550 | 579 | 3 |
| | 625 | 555 | 4 |
| | 650 | 539 | 5 |



Gambar 1. Kurve kekuatan tarik vs temperatur pemanasan dari paduan Al-1,1 m% Mn



Gambar 2. Kurve prosen deformasi plastis vs temperatur pemanasan dari paduan Al-1,1 m% Mn

kembali di tungku pada temperatur 6250°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).

- g. Potongan ketujuh dipanasi kembali di tungku pada temperatur 650°C selama satu jam kemudian dicelup cepat di air (*water quench*).
- h. Semua potongan paduan aluminium dibuat spesimen uji tarik standar ASTM.

5. Masing-masing potongan diuji/diamati sebagai berikut:
 - a. Uji tarik.
 - b. Uji metalografi.
 - c. Uji difraksi elektron (*TEM*).
 - d. Uji *DTA*.

III. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisa AAS

Hasil analisis *AAS* menunjukkan kandungan logam Mn pada aluminium pasaran adalah 511,2 ppm atau 0,051 m%. Sehingga harus ditambah logam Mn murni agar komposisi kimianya menjadi Al-1,1 m% Mn.

Analisa Kekuatan Mekanik (Uji Tarik)

Pada komposisi kimia Al-1,1 m% Mn kekuatan tarik naik sebesar 12% sedangkan deformasi plastisnya turun sebesar 50% dibandingkan paduan aluminium pasaran. Perubahan ini disebabkan terbentuknya fasa kedua $MnAl_6$ yang terdistribusi homogen di batas batas butir dengan derajat inkoherensi yang tinggi dibandingkan fasa matriks Al-Mn disekitarnya (*secara mendalam akan dibahas pada edisi berikutnya*). Medan energi distorsi kristalografi antara fasa kedua $MnAl_6$

dengan fasa matriks Al-Mn yang sangat tinggi dan kekerasan dari fasa kedua $MnAl_6$ cukup besar sangat efektif menghalangi gerakan garis-garis dislokasi di dalam paduan Al-Mn.

Pada interval temperatur kamar hingga temperatur 625°C terjadi perputaran orientasi kristalografi fasa kedua $MnAl_6$ dari sangat inkoheren menuju koheren. Pada temperatur 625°C derajat inkoherensi yang masih cukup tinggi dan kekerasan fasa kedua $MnAl_6$ mampu menghalangi membesarnya/tumbuhnya butir-butir fasa Al-Mn, sehingga kekuatan mekaniknya terjaga pada tingkat 579 MPa.

Pada interval temperatur 625°C hingga 650°C orientasi kristal fasa kedua $MnAl_6$ menjadi semakin koheren dengan fasa matriks Al-Mn. Derajat inkoherensi yang lemah dan kekerasan fasa kedua $MnAl_6$ tidak

mampu menghalangi membesarnya/tumbuhnya butir. Sehingga kekuatan mekaniknya turun menjadi 555 MPa dan 539 MPa. Pada temperatur 650°C orientasi kristal $MnAl_6$ koheren dengan fasa matriks Al-Mn yang kemudian larut di dalam fasa matriks. Larutnya fasa kedua $Mn-Al_6$ ke dalam fasa matriks dapat diketahui secara pasti dengan alat DTA. Terdisosiasinya fasa kedua $MnAl_6$ menyebabkan butir membesar/tumbuh dengan cepat, sehingga kekuatan mekanik paduan Al-1,1 m% Mn turun secara drastis. Modus/tahap larutnya fasa kedua $MnAl_6$ adalah sebagai berikut:

1. Fasa kedua $MnAl_6$ terdisosiasi sebagai atom-atom bebas.
2. Dengan mekanisme difusi atom-atom bebas Mn dan Al akan larut di dalam sel satuan fasa matriks Al-Mn. Pada tahap ini jika diamati dengan DTA akan tampak secara jelas sebagai kalor laten disosiasi, yaitu ditandai adanya puncak kurve (*curve peak*). Energi termal dari luar tidak dipergunakan untuk menaikkan temperatur, namun dipergunakan untuk mendifusi atom-atom Mn dan Al agar larut di dalam fasa matriks Al-Mn.

Pada interval temperatur 650°C hingga titik *liquidus* fasa Al-Mn hanya ada fasa tunggal, yaitu fasa Al-1,1 m% Mn. Butir-butir fasa Al-Mn tumbuh/membesar dengan semakin naiknya temperatur, dan akhirnya fasa Al-1,1 m% Mn mencair.

IV. Kesimpulan dan Saran Kesimpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposisi kima paduan Al-1,1 m% Mn akan menghasilkan fasa kedua $MnAl_6$ yang sangat keras dan terdistribusi homogen di batas butir.
2. Fasa kedua bersifat menghalangi tumbuh/membesarnya butir-butir fasa matriks Al-Mn akibat pemanasan.
3. Fasa kedua $MnAl_6$ stabil hingga temperatur 625°C. Pada interval temperatur tersebut kekuatan mekanik paduan Al-Mn tidak berubah.
4. Fasa kedua $MnAl_6$ kestabilannya turun pada interval temperatur 625°C hingga 650°C, dan akhirnya larut. Sifat mekanik turun secara perlahan-lahan, kemudian turun

cepat pada temperatur 650°C.

Saran

- a. Perubahan sifat mekanik paduan Al-1,1 m% Mn akan dibahas dengan dukungan hasil analisa mikro, yaitu analisa metalografi optik, metalografi difraksi (TEM), dan analisa DTA (sudah dilakukan dan dibahas secara mendalam pada edisi berikutnya).
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih jauh tentang sifat korosi dari paduan Al-1,1 m% Mn.

IV. Daftar Pustaka

1. Reed-Hill, R.E., Abbaschian, R., 1992, *Physical Metallurgy Principles*, third edition, 546-555, PWS-KENT Publishing Company, Boston.
2. Smallman, R.E., 1970, *Modern Physical Metallurgy third edition*, Butterworths, London

^{*)} Penulis adalah staf pengajar di Jurusan Teknik Nuklir, Fakultas Teknik, UGM

**Tanpa Penguasaan Dan Penerapan Teknologi,
Masalah Lingkungan Akan Tetap Menjadi
Faktor Beban Biaya Yang Tidak Kecil**